

Année 1897

THÈSE

N°

438

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le jeudi 1^{er} juillet 1897 à 1 heure

PAR

M. J. TISSOT

Docteur ès sciences naturelles, Lauréat de l'Institut et de l'Académie de médecine,
Assistant de M. Chauveau, Stagiaire au Muséum.

LES LOIS
DU MOUVEMENT ÉNERGÉTIQUE

DANS LES MUSCLES
EN CONTRACTION VOLONTAIRE STATIQUE

NOUVELLE MÉTHODE
POUR L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES PHYSICO-CHIMIQUES
DE LA RESPIRATION

Président : M. CH. RICHEL, professeur.

*Juges : MM. { DEBOVE, professeur.
 { LÉTULLE et GLEY, agrégés.*

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1897

438

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1897

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le jeudi 1^{er} juillet 1897 à 1 heure

PAR

M. J. TISSOT

Docteur ès sciences naturelles, Lauréat de l'Institut et de l'Académie de médecine,
Assistant de M. Chauveau, Stagiaire au Muséum.

LES LOIS DU MOUVEMENT ÉNERGÉTIQUE

DANS LES MUSCLES
EN CONTRACTION VOLONTAIRE STATIQUE

NOUVELLE MÉTHODE
POUR L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES PHYSICO-CHIMIQUES
DE LA RESPIRATION

Président : M. CH. RICHET, professeur.

*Juges : MM. { DEBOVE, professeur.
 { LETULLE et GLEY, agrégés.*

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

—
1897

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Doyen M. BROUARDEL.

Professeurs.

	MM.
Anatomie	FARABEUF.
Physiologie	CH. RICHET.
Physique médicale	GARIEL.
Chimie organique et chimie minérale	GAUTIER.
Histoire naturelle médicale	N.
Pathologie et thérapeutique générales	BOUCHARD.
Pathologie médicale	{ HUTINEL.
	{ DEBOVE.
Pathologie chirurgicale	LANNELONGUE.
Anatomie pathologique	CORNIL.
Histologie	MATHIAS DUVAL.
Opérations et appareils	TERRIER.
Pharmacologie	POUCHET.
Thérapeutique et matière médicale	LANDOUZY.
Hygiène	PROUST.
Médecine légale	BROUARDEL.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LABOULBENE.
Pathologie comparée et expérimentale	N.
Clinique médicale	{ POTAIN.
	{ JACCOUD.
	{ HAYEM.
Clinique des maladies des enfants	DIEULAFOY.
Clinique des maladies syphilitiques	GRANCHER.
Clinique de pathologie mentale et des maladies de l'encéphale	FOURNIER.
Clinique des maladies nerveuses	JOFFROY.
	RAYMOND.
Clinique chirurgicale	{ BERGER.
	{ DUPLAY.
	{ LE DENTU.
Clinique ophtalmologique	TILLAUX.
Clinique des voies urinaires	PANAS.
Clinique d'accouchements	{ GUYON.
	{ TARNIER.
	{ PINARD.

Agrégés en exercice.

MM.	MM.	MM.	MM.
ACHARD.	GAUCHER.	MARIE.	SEBILEAU.
ALBARRAN.	GILBERT.	MENETRIER.	THIERY.
ANDRÉ.	GILLES DE LA	NELATON.	THOINOT.
BAR.	TOURETTE.	NETTER.	TUFFIER.
BONNAIRE.	GLEY.	POIRIER, chef des	VARNIER.
BROCA.	HARTMANN.	travaux anatomiques	WALTHER.
CHANTEMESSE.	HEIM.	RETTERER.	WEISS.
CHARRIN.	LEJARS.	RICARD.	WIDAL.
CHASSEVANT.	LETULLE.	ROGER.	WURTZ.
DELBET.	MARFAN.		

Secrétaire de la Faculté : M. Ch. PUPIN.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON MAITRE

M. A. CHAUVEAU

Membre de l'Institut de France, Professeur de pathologie comparée
au Muséum d'histoire naturelle.

Hommage de reconnaissance et de respectueuse affection.

J. TISSOT.

INTRODUCTION

Ce travail comprend deux parties :

Dans la première est exposée une nouvelle méthode pour l'étude des phénomènes physico-chimiques de la respiration. Cette méthode, dont l'idée première et le principe reviennent à M. Chauveau, a été appliquée dans les expériences qui composent la seconde partie.

Ce travail a été fait dans le laboratoire et sous la direction de mon maître, M. Chauveau. Il m'est particulièrement agréable de pouvoir remercier ici mon excellent maître pour la sollicitude qu'il m'a témoignée dans nombre de circonstances, et pour les conseils qu'il m'a prodigués dans le cours de ces recherches. Je lui en exprime ma plus profonde reconnaissance.

Je remercie MM. Phisalix et de Varigny pour la complaisance qu'ils m'ont souvent témoignée et j'adresse des remerciements tout à fait particuliers à mon excellent ami le Dr Ch. Bachimont pour sa collaboration à mes expériences et pour les conseils judicieux et éclairés qu'il m'a donnés en maintes circonstances.

I

APPAREIL

POUR

MESURER LE DÉBIT ET LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES

D'APRÈS LA MÉTHODE DE M. A. CHAUVEAU

(Méthode de la dérivation partielle et proportionnelle du courant d'air expiré)

(Travail du laboratoire de M. Chauveau.)

Les différentes méthodes employées jusqu'ici dans l'étude des phénomènes chimiques de la respiration ne remplissent pas toutes les conditions désirables et ne sont pas applicables dans un grand nombre de cas, surtout dans les expériences faites sur l'homme ; les différents appareils les plus employés (chambre respiratoire, appareils à doubles soupapes inspiratrice et expiratrice, spiromètres, compteurs, etc.) présentent de nombreux inconvénients : ils ne sont pas transportables et ne peuvent pas suivre les évolutions du sujet, ou bien ils gênent considérablement la respiration et la rendent impossible au bout d'un temps assez court.

Il était donc désirable de posséder une méthode :

1° Qui puisse s'appliquer à tous les cas et sans gêner la respiration du sujet ;

2° Qui permette de connaître le débit respiratoire total et de recueillir une certaine portion de l'air expiré pour en faire l'analyse.

Ce sont ces conditions que M. Chauveau a voulu remplir en imaginant un appareil nasal basé sur les principes suivants :

1° Si l'on fait passer la totalité de l'air expiré sortant par les narines (la bouche restant continuellement fermée) dans un système de deux tubes concentriques ouverts à leurs deux extrémités, il

passé dans le plus petit de ces deux tubes une quantité d'air qui est dans un rapport constant avec la quantité totale d'air expiré ¹ ;

2° Inversement, et connaissant ce rapport, on peut calculer facilement la valeur du débit respiratoire total, si l'on a recueilli et mesuré la portion d'air expiré qui a passé dans le tube intérieur.

Il est assez difficile de réaliser toutes les conditions que j'ai énoncées plus haut. J'ai néanmoins réussi à les remplir suffisamment bien, comme on le verra plus loin, dans l'appareil que je vais décrire et qui a déjà donné d'excellents résultats publiés antérieurement par M. Chauveau ².

Cet appareil (*fig. 1*) se compose d'un tube A, soudé à une petite caisse métallique D et portant deux tubes latéraux B et C. Un autre tube E,

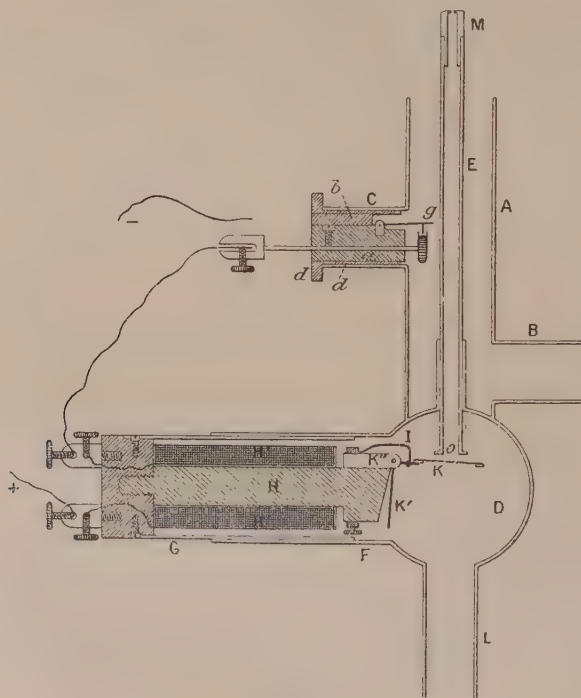


Fig. 1.

d'un calibre beaucoup plus faible que le premier, est placé dans l'axe de celui-ci et communique librement, d'une part avec l'extérieur, d'autre

¹ On verra plus loin que certaines conditions doivent être réunies pour que ce principe soit exact.

² A. CHAUVÉAU. La loi de l'équivalence dans les transformations de la force chez les animaux ; vérification expérimentale, etc. (*Comptes rendus*, 1896).

part avec la caisse D. C'est ce tube qui servira au passage de l'air dérivé pour les analyses et pour les mesures du débit respiratoire. Le tube B est ouvert et sert à l'entrée de l'air inspiré et à la sortie de l'air expiré. Dans le tube C est fixé un interrupteur décrit plus loin.

La caisse D porte un large tube latéral F dans lequel s'engage un second tube G portant les parties suivantes :

1° Un électro-aimant H H' ;

2° Un système K K' K'' destiné à la fermeture de l'extrémité inférieure du tube E. Ce système est constitué de la manière suivante : Il est formé de deux parties *a* et *b* (fig. 2), fixées sur l'axe *c* au moyen de deux petites tiges métalliques ; *a* est une soupape constituée par une couronne métallique sur laquelle est fixée et tendue une lame de caoutchouc ; *b* est une lame de fer doux très mince, qui sera attirée à chaque expiration par l'électro-aimant H. L'axe *c* est articulé sur la pièce *d* et cette dernière est fixée sur la masse de fer doux de l'électro-aimant par une couronne métallique *f*. La soupape *a* est maintenue constamment relevée et appliquée contre l'extrémité inférieure du tube E (fig. 1) par un ressort très fin I.

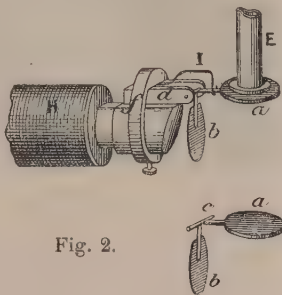


Fig. 2.

Enfin, un dernier tube L met en communication la caisse D avec un réservoir approprié, dans lequel on emmagasinera la portion dérivée de l'air expiré. La soupape K (fig. 1) ferme l'extrémité inférieure du tube E à chaque inspiration et s'abaisse pendant toute la durée de l'expiration. En un mot, elle s'élève ou s'abaisse exactement suivant le rythme des inspirations et expirations. Ce résultat est obtenu à l'aide de l'interrupteur placé dans le tube C (fig. 1) et qui rompt à chaque inspiration un courant de pile traversant l'électro-aimant H.

Cet interrupteur est formé de deux pièces d'ébonite *a*, *b* (fig. 1 et 3), renfermées dans le tube *d* ; l'une d'elles *a* est traversée par deux tiges métalliques *e*, *e*, portant une borne à l'une de leurs extrémités et un godet métallique *m*, *m'* à l'autre. Ce godet a une profondeur de 6 à 7 millimètres et un diamètre de 2 millimètres ; il contient du mercure jusqu'à un certain niveau qui est exactement le même dans l'autre godet. Le courant passe d'un godet à l'autre au moyen de deux petites pointes métalliques très fines *n*, *n'*, soudées à une mince lame de clinquant *g*, fixée elle-même par la tige *h* à l'axe *k*.

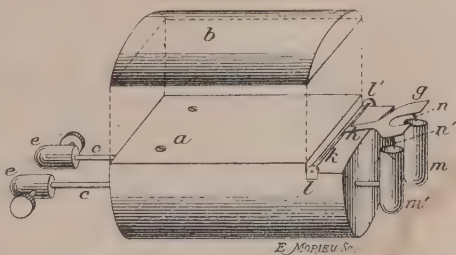


Fig. 3.

au moyen de deux petites pointes métalliques très fines *n*, *n'*, soudées à une mince lame de clinquant *g*, fixée elle-même par la tige *h* à l'axe *k*.

Cet axe est articulé sur les deux pièces *l, l'*; la lame *g* se soulève à chaque inspiration (les pointes *n, n'* quittent à ce moment le contact des ménisques de mercure) et s'abaisse au commencement de l'expiration (ou un peu avant). Mais pour qu'elle exécute bien ces mouvements, elle doit être d'une extrême légèreté et pouvoir être soulevée par un courant d'air d'une faible vitesse¹.

Toutes ces parties étant décrites, le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre. L'électro-aimant et l'interrupteur sont placés dans le



Fig. 4.

A, mouvements respiratoires; ils sont inscrits à l'aide d'un tambour à levier mis en communication avec l'intérieur du tube B (fig. 4). — B, mouvements de la soupape K; l'électro-aimant est remplacé par un signal de Desprez, les mouvements de la plume de ce signal correspondent donc exactement aux mouvements de la soupape K; la portion CD du tracé correspond à l'occlusion de l'orifice O (fig. 4).



Fig. 5.

A, mouvements respiratoires; B, mouvements de la soupape; C D E F, repères naturels pris par arrêt du cylindre.

circuit d'un courant de pile. La lame de clinquant *g*, abaissée sur les godets à mercure par son propre poids, ferme le circuit à l'état de repos. Dans cet état, la lame de fer doux *K'* est attirée par l'électro-aimant, et la soupape K laisse libre l'ouverture du tube de dérivation E (fig. 4). Lorsque l'inspiration s'effectue, la lame métallique *g* se soulève et rompt

¹ Cet interrupteur présente l'avantage de fonctionner aussi bien lorsque le sujet en expérience se déplace (marche, montée des escaliers, course) que lorsqu'il est au repos. Le mercure adhère tellement à la paroi métallique des godets que l'on peut retourner l'interrupteur sans dessus dessous sans que les ménisques changent de forme et sans que le mercure tombe.

immédiatement le courant ; la lame de fer doux K' abandonne l'électro-aimant et la soupape K, attirée avec elle en sens inverse par la tension du ressort I, vient fermer l'ouverture du tube E, empêchant ainsi toute aspiration, vers le poumon, de l'air refoulé dans la caisse D et dans le réservoir qui lui fait suite. L'inspiration terminée, la lame *g* retombe par son propre poids sur les godets, ferme à nouveau le courant et détermine l'abaissement de la soupape K *un très court instant avant le commencement de l'expiration* ; de sorte que l'orifice O se trouve libre *pendant la durée entière de l'expiration* et permet la dérivation dans un réservoir approprié, d'une quantité déterminée d'air expiré.

D'après ce que je viens de dire, il y a donc sensiblement synchronisme entre les mouvements de la soupape K et les mouvements respiratoires ; il y a sur l'expiration une très légère avance du mouvement d'abaissement et sur l'inspiration un très léger retard du mouvement d'élévation. L'avance du mouvement d'abaissement est une condition qui favorise le bon fonctionnement de l'appareil. Quant au retard, il manque souvent ; il ne se produit que lorsque le sujet mis en expérience a les mouvements respiratoires très lents et disparaît aussitôt que la respiration s'accélère. Mais, qu'il existe ou non, c'est sûrement une quantité négligeable, car il se produit à un moment où la vitesse du courant d'air est encore très faible, trop faible pour soulever la lame *g* de l'interrupteur (*fig. 3*).

Voici deux tracés qui montrent le synchronisme des mouvements de la soupape K avec les mouvements respiratoires. Ils ont été pris sur le même sujet, le premier pendant l'état de repos (*fig. 4*), le second après un travail très faible (marche pendant une ou deux minutes) (*fig. 5*).

Ainsi donc, la soupape K (*fig. 1*) suit bien dans ses mouvements le rythme de la respiration ; cette constatation était de la première importance, puisque la force qui met en mouvement cette soupape n'est pas empruntée directement à l'air qui sert à la respiration ; et c'est ce dernier principe qui permet en grande partie à l'appareil de donner des indications exactes.

Je m'occuperai maintenant des conditions physiques dans lesquelles l'appareil fonctionne.

La quantité d'air qui a été dérivée par le tube E doit être dans un rapport constant avec la quantité totale d'air expirée, *quelle que soit la vitesse avec laquelle cet air est rejeté au dehors*. Ce résultat est obtenu lorsque l'air qui passe dans le tube E éprouve dans son mouvement de progression une résistance égale à celle de l'air qui sort librement au dehors par le tube B. Cette condition ne peut pas être remplie par l'appareil du premier abord. On n'y arrive qu'après une série de tâtonnements, en modifiant la longueur du tube E. A l'extrémité de ce tube est placé un ajoutage M, percé d'un orifice en mince paroi et d'un diamètre variable, suivant les circonstances. Cet ajoutage peut être enlevé à volonté et remplacé par un autre dont l'orifice est différent.

Il y a deux opérations successives à effectuer :

1° Chercher l'égalité du rapport $\frac{\text{air dérivé}}{\text{air total expiré}}$ pour toutes les vitesses d'écoulement de l'air dans l'appareil, l'orifice de dérivation restant le même ;

2° Cette égalité obtenue se maintient pour un orifice de dérivation d'un diamètre quelconque ; on cherche donc par tâtonnement le diamètre qu'il faut donner à l'orifice pour obtenir une dérivation convenable et appropriée à l'expérience que l'on se propose de faire ; cet orifice doit naturellement être d'autant plus étroit que l'expérience doit avoir une plus longue durée.

Première opération. — L'appareil est disposé comme pour une expérience, la vessie mise en place¹, etc. On détermine dans l'appareil l'écoulement d'une quantité déterminée d'air (20 litres) sous deux vitesses différentes, l'une assez faible, l'autre beaucoup plus forte². Avant de pénétrer dans l'appareil, l'air passe dans un compteur qui indique le volume total d'air écoulé. Je vais donner comme exemples trois séries de mesures effectuées avec l'un des premiers appareils que j'ai employés.

PREMIÈRE SÉRIE.

	Volume d'air dérivé. lit	Volume total. lit
Petite vitesse.....	0,438	20
Grande vitesse.....	0,369	20

Le débit de l'air dérivé étant plus considérable pour les faibles pressions, cela nous indique que l'orifice de dérivation est situé trop haut. Le tube E est donc raccourci une première fois.

DEUXIÈME SÉRIE.

	Volume d'air dérivé. lit	Volume total. lit
Petite vitesse.....	0,377	20
Grande vitesse.....	0,356	20

Cette fois encore, l'orifice de dérivation est encore placé trop haut ; le tube E est raccourci une seconde fois.

TROISIÈME SÉRIE.

	Volume d'air dérivé. lit	Volume total. lit
Petite vitesse.....	0,312	20
Grande vitesse.....	0,315	20

¹ Ce dispositif est décrit plus loin. Pour ces mesures, et à cause de la légère élasticité que présentent les vessies, et qui devient particulièrement apparente lorsque l'air en a été complètement extrait, il est nécessaire d'introduire au préalable une quantité d'air déterminée (faible) dont on tiendra compte dans la suite.

² L'écoulement de l'air est déterminé par un écoulement d'eau sous une pression donnée, dans un réservoir d'une capacité d'environ 30 litres ; la pression est celle d'une colonne d'eau de 0^m,35 pour les faibles vitesses, et de 1^m,05 pour les vitesses plus grandes.

Je suis ainsi arrivé à une exactitude bien suffisante et que l'on peut difficilement dépasser ; je me contenterai de cette approximation et je considérerai le débit dérivé comme étant sensiblement égal à la soixante-quatrième partie du débit total, quelle que soit la vitesse d'écoulement de l'air.

$$\left(\frac{20}{0,313} = \frac{64}{1} \right).$$

Deuxième opération. — Je suppose qu'on veuille obtenir un rapport voisin de $\frac{40}{1}$, on y arrive par les trois mesures suivantes :

	Volume dérivé. lit	Volume total. lit	Rapport.
Première mesure	0,314	20	$\frac{63,7}{1}$

L'orifice est agrandi.

	Volume dérivé. lit	Volume total. lit	Rapport.
Deuxième mesure	0,348	20	$\frac{57,5}{1}$

L'orifice est encore agrandi.

	Volume dérivé. lit	Volume total. lit	Rapport.
Troisième mesure	0,464	20	$\frac{43,1}{1}$

Ce dernier rapport est assez voisin du rapport cherché et l'on s'en contente.

Ainsi donc, pour toutes les vitesses d'écoulement de l'air, la 43^e partie de l'air expiré sera dérivée dans la vessie ; connaissant le volume d'air dérivé, on aura donc facilement le débit respiratoire, et si l'on a eu soin de prélever un échantillon de cet air pour l'analyser, on pourra connaître les quantités totales d'oxygène absorbées et d'acide carbonique exhalées par le sujet.

Il me reste encore à signaler quelques points très importants. — La vapeur d'eau peut se condenser à l'orifice de l'ajoutage M (*fig. 1*) et l'obstruer ; de sorte que j'ai été obligé d'employer une pièce accessoire (*fig. 6*) qui peut servir comme dessiccateur ou comme condensateur ; elle se compose d'une petite cuvette de verre A à laquelle est soudé un tube B, pénétrant dans l'intérieur jusqu'à environ 1 centimètre du couvercle C. Ce dernier est une plaque métallique traversée par deux tubes de verre D, D' ouverts librement à leurs deux extrémités et plongeant dans la cuvette A jusque vers son milieu. Ce couvercle s'enlève à volonté et peut être fixé sur la cuvette à l'aide du manchon de caoutchouc E. Aux tubes D et D' s'ajustent deux tubes de verre F, G, dont les extrémités H, H' s'adaptent exactement aux narines du sujet. Un tube métallique K, fixé au tube B, permet d'ajuster le tout sur le tube A de l'appareil (*fig. 1*). On peut se servir de la cuvette comme condensateur ; elle condense suffisamment de vapeur d'eau pour qu'on n'ait plus à craindre

l'obstruction de l'orifice de dérivation; on peut aussi, pour plus de sûreté, y mettre des corps avides d'eau (potasse, acide phosphorique anhydre, etc.).

Un point des plus importants concerne le réservoir dans lequel on emmagasine l'air dérivé. Les résultats les meilleurs sont obtenus à l'aide

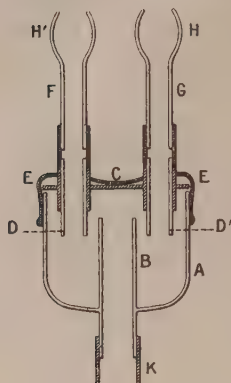


Fig. 6.

de vessies ayant subi une préparation spéciale. Après leur extraction de l'animal, on les distend le plus possible et on les laisse sécher; lorsque la dessiccation est parfaite, on en amincit les parois et on les assouplit en les malaxant pendant très longtemps après les avoir imbibées d'huile; la vessie est au point convenable lorsque l'élasticité de ses parois a presque totalement disparu et qu'elle est devenue flasque comme une vessie fraîche.

Il y a un mode de préparation beaucoup plus convenable, mais aussi plus laborieux, et qui consiste à disséquer et à enlever complètement au préalable la tunique musculieuse. Lorsque la tunique muqueuse reste seule, on la distend avec précaution avec de l'air et on la laisse sécher. La dessiccation obtenue, on répand de l'huile à la surface et on malaxe la vessie avec précaution jusqu'au degré voulu. On obtient ainsi un sac d'une extrême minceur et qui présente une résistance nulle à la pénétration de l'air. Ce mode de préparation est extrêmement laborieux, surtout avec la vessie de certains animaux. La vessie du cheval est celle qui se prête le mieux à la préparation et qui donne les meilleurs résultats par la suite.

La seule objection qu'on puisse faire à cette manière de collecter l'air expiré, est que les parois minces de la vessie se prêtent à la diffusion de l'oxygène et de l'acide carbonique. Cette diffusion est déjà considérablement diminuée par l'imprégnation des parois avec de l'huile et, d'autre part, l'air enfermé dans la vessie n'y séjourne pas un temps suffisant pour que l'effet de la diffusion puisse se faire sentir. Les résultats obtenus jusqu'ici le montrent du reste parfaitement.

Pour terminer cette description, je parlerai du manuel opératoire concernant une expérience faite sur un sujet en état de travail, par exemple. Le condensateur est fixé sur l'appareil (fig. 1) et la vessie est ajustée au tube L; au préalable, la vessie convenablement assouplie est ajustée par le col à un tube de verre ou de métal terminé par un tube de caoutchouc de quelques centimètres et qui servira à adapter le tout au tube L de l'appareil (fig. 1); elle a été vidée totalement de son contenu d'air, puis on l'a laissée obéir au peu d'élasticité qui lui reste et qui détermine la rentrée d'une petite quantité d'air¹. Lorsqu'elle est mise en place, on

¹ Il importe peu de connaître la quantité d'air qui reste dans la vessie, et qui se mélangera à l'air expiré; ce mélange n'influe en rien sur la valeur des quo-

interrompt sa communication avec l'appareil en plaçant une pince à pression sur le tube de caoutchouc qui la relie au tube L. Puis on intercale l'interrupteur et l'électro-aimant dans le circuit d'un courant de pile; au moment fixé, le sujet ajuste dans ses narines les deux tubes du condensateur, puis soutient l'appareil de sa main gauche par le tube L, et enfin prend la pile dans sa main droite¹; à ce moment, on lève la pince qui interrompt la communication avec la vessie et le sujet commence le travail à effectuer (marche ou travail du bras droit; dans ce dernier cas, le corps du sujet est immobile et la pile placée sur une table, etc.), ou continue le travail déjà commencé (l'interruption du travail peut être très courte et de trois ou quatre secondes seulement, si l'opération est rapidement conduite). Lorsque la prise d'air ou le travail ont été jugés suffisants, le sujet s'arrête et la communication avec la vessie est à nouveau interrompue à l'aide d'une pince posée sur le tube de caoutchouc, puis on procède par des procédés convenables :

1° Au prélèvement d'un échantillon de l'air dérivé;

2° A la mesure du volume total dérivé.

J'ai déjà dit plus haut comment, à l'aide de ces deux données, on arrive à la connaissance du débit respiratoire et des quantités d'oxygène absorbées et d'acide carbonique exhalées par le sujet.

Il ne me reste plus, pour compléter cet exposé, qu'à renvoyer le lecteur aux recherches qui suivent. Il pourra se rendre compte, par la nature des expériences, par l'examen des quotients et coefficients respiratoires, et par les résultats mêmes des expériences, du degré d'exactitude auquel on peut arriver à l'aide de cette nouvelle méthode.

Quant à l'analyse de l'air expiré, elle a toujours été faite avec la plus grande précision, et à l'aide de l'eudiomètre de M. Chauveau, que j'ai décrit antérieurement². Je ne m'étendrai pas sur l'exactitude des résultats donnés par cet appareil; c'est un fait sur lequel j'ai déjà longuement insisté.

tients respiratoires. Quant aux coefficients, ils seront calculés sur la quantité d'acide carbonique présente dans le volume d'air total que contient la vessie, et sur la quantité d'oxygène manquant dans ce même volume; ces deux quantités, multipliées par le rapport de dérivation ($\frac{43}{1}$ par exemple, comme je l'ai établi plus haut), donneront les quantités totales d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalée. Quant au débit respiratoire, il ne pourra être connu exactement que si l'on a introduit au préalable dans la vessie un volume d'air connu (pour neutraliser l'effet de son élasticité).

¹ La pile est placée aussi dans quelques cas dans un sac que le sujet porte derrière son dos.

² J. Tissot, Étude des phénomènes de survie dans les muscles après la mort générale (*Ann. des sc. nat.*, 1896).

II

LES LOIS DU MOUVEMENT ÉNERGÉTIQUE

DANS LES MUSCLES EN CONTRACTION VOLONTAIRE STATIQUE

Cette question n'est pas nouvelle ; une étude approfondie et très complète en a été faite par M. Chauveau, qui a établi et formulé les lois de l'échauffement, traduisant la dépense d'énergie, consacrée à la création de l'élasticité dans les muscles en contraction statique et dynamique ¹.

Ces lois ont été établies par M. Chauveau par l'étude de l'échauffement du muscle pendant la contraction, et c'est à son instigation que j'ai repris la question en utilisant les coefficients respiratoires pour la mesure de l'énergie mise en mouvement dans la contraction musculaire.

Je donnerai, le plus succinctement possible, quelques renseignements sur la technique opératoire.

L'appareil que j'ai employé est celui déjà décrit et utilisé par M. Chauveau ². Il consiste en une gouttière angulaire (*fig. 1*) fixée au sol et dans laquelle viennent se placer l'épaule et le bras, que le sujet immobilise dans cette position. L'épitrochlée est toujours maintenue au même niveau indiqué par un point de repère. C'est autour de ce point K, comme centre, que l'avant-bras se meut ; la position de l'avant-bras ou la valeur de l'arc qu'il décrit est déterminée par la position de l'aiguille F sur l'arc GH. A l'avant-bras est fixée une armature de bois constituée par

¹ A. CHAUXEAU, *Le travail musculaire et l'énergie qu'il représente*, 1891. Asselin, Paris.

² *Ibid.*, p. 23.

une mince planchette A (*fig. 2*), fixée au bord cubital par des tours de bandes et par un cadre BCD ajusté à l'extrémité de cette planchette.



Fig. 1.

Au cadre BCD est fixé un crochet E mobile autour des deux points OO' , de telle sorte que, lorsque ce crochet soutient un poids, le centre de gravité de ce dernier est toujours situé sur une verticale coupant l'axe OO' . D'autre part, le bras étant vertical, on voit que les directions des for-

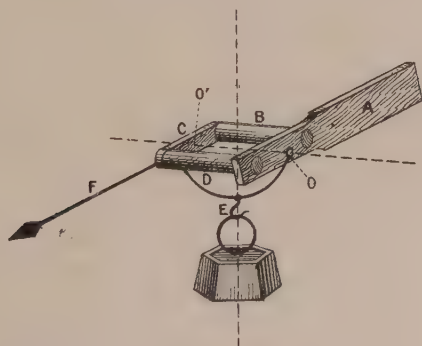


Fig. 2.

ces, puissance et résistance, sont toujours parallèles pour toutes les positions de l'avant-bras et (I J., *fig. 1*).

La position de l'avant-bras est déterminée par un angle lu sur l'arc gradué GH. On prend conventionnellement comme O le point indiqué sur l'arc par l'aiguille F lorsque l'angle $IKF = 90^\circ$. Les angles sont comptés à partir de ce point, négativement en bas, positivement en haut.

Je n'insisterai pas sur les causes d'erreur qui peuvent résulter de la multiplicité des muscles qui concourent à la flexion de l'avant-bras; elle ont déjà été signalées et appréciées¹; mais, en dehors d'elles et en dehors de celles qui résultent de la fatigue musculaire (qui sera toujours évitée dans les expériences), et en dehors également des causes d'erreurs inconnues de l'expérimentateur et qui font varier les échanges respiratoires à l'état de repos (phénomènes rentrant surtout sous l'action du système nerveux), j'en signalerai une dernière très importante et qui réside dans les modifications que le travail apporte dans la ventilation pulmonaire, dans le nombre et l'amplitude des mouvements respiratoires. En effet, pendant un effort quelconque, il y a modification du rythme respiratoire, soit *ralentissement*, soit *accélération*; cette modification a une valeur variable pour les efforts de valeur différente. D'où il suit que le travail des muscles respiratoires n'est pas le même dans tous les cas et qu'il y a là une dépense d'énergie variable dont on ne tient pas compte et dont on ne peut pas apprécier la valeur. Dans certaines expériences, j'ai vu un ralentissement tellement prononcé des mouvements respiratoires, que j'ai voulu y remédier en forçant le sujet à respirer d'une manière régulière dans tous les cas, au moyen d'un métronome battant 20, 25, 30 fois, etc., à la minute, suivant les besoins de l'expérience. J'ai employé ce procédé dans toutes les expériences qui suivent et je crois avoir obtenu de bien meilleurs résultats par ce moyen.

Je ne parlerai pas de la description de la méthode qui m'a servi à mesurer les échanges respiratoires: elle a été décrite antérieurement².

Je me bornerai maintenant, avant d'aborder la description des expériences, à rappeler quelques principes concernant l'élasticité musculaire, principes qui ne sont qu'un abrégé et un résumé des explications données par M. Chauveau dans son livre, *Le travail musculaire et l'énergie qu'il représente*.

Dans l'élasticité acquise par le muscle contracté à l'état statique et soutenant une charge, on peut distinguer³:

¹ A. CHAUCHEAU, *Ibid.*, p. 23.

² J. TISSOT, Appareil pour mesurer le débit et les échanges respiratoires d'après la méthode de M. A. Chauveau (Méthode de dérivation partielle et proportionnelle du courant d'air expiré) (*Arch. de physiol.*, juillet 1896).

³ Il est utile de rappeler ici que M. Chauveau considère le muscle contracté comme un organe qui a subitement acquis une grande élasticité; cette élasticité est créée par des transformations d'énergie chimique qui se passent au sein du tissu musculaire pendant la contraction; il distingue en outre l'élasticité *active* ou *acquise* du muscle contracté, de l'élasticité *passive* du muscle au repos ou mort; la première intervient seule dans les phénomènes de mouvement exécutés par le muscle.

1° L'*élasticité effective*, qui a pour fonction de faire équilibre à la charge et qui a pour mesure cette charge ;

2° Une deuxième portion d'élasticité qui n'est pas appliquée à soutenir la charge, mais à vaincre la résistance de la substance musculaire au déplacement pendant la contraction ; cette résistance au déplacement entraîne en effet une certaine dépense d'énergie consacrée à la création d'une force élastique ; cette force s'accroît avec le raccourcissement musculaire et varie proportionnellement à la valeur de la charge ;

3° Cette dernière force élastique, ajoutée à l'élasticité effective, constitue l'*élasticité totale* ou élasticité de contraction.

Ainsi donc, d'après ce qui vient d'être dit, l'*élasticité totale* et par suite l'*énergie* dont elle dérive, doivent s'accroître avec le raccourcissement musculaire ; d'autre part, dans le cas de raccourcissement musculaire constant, la dépense d'énergie doit varier comme la charge.

Les expériences qui suivent consisteront donc à mesurer la dépense énergétique dans les cas :

1° De soutien d'une charge constante avec raccourcissement musculaire variable ;

2° De soutien de charges variables avec raccourcissement musculaire constant.

Pour compléter les indications de ces deux séries d'expériences, il est bon d'envisager aussi les cas de :

3° Raccourcissement musculaire et charges croissants ;

4° Raccourcissement musculaire croissant, charge décroissante.

J'ai dit plus haut comment on évalue le raccourcissement musculaire, et j'ai décrit antérieurement la manière de déterminer les coefficients respiratoires du sujet pendant le travail (¹ et ²) ; il ne me

¹ J. Tissor, *ibid.*

² Je donnerai ici quelques indications complémentaires sur la diffusion des gaz à travers les parois des vessies utilisées dans les expériences (voir à ce sujet le mémoire cité plus haut). Avant de mesurer la valeur de cette diffusion, je ferai les remarques suivantes :

1° La diffusion s'opère dans tous les cas par la même surface qui est la surface totale de la vessie ;

2° La pression est toujours très faible, négligeable, dans l'intérieur de la vessie, et par conséquent reste la même dans tous les cas ;

3° La diffusion ne peut s'effectuer que pendant un temps très court, les expériences ne durent jamais plus de cinq minutes ; ce temps n'est pas augmenté par des manœuvres ultérieures faites dans le but d'extraire un échantillon du gaz pour l'analyse, car cette extraction se fait en quelques secondes à l'aide d'un appareil très simple ;

4° La diffusion est toujours considérablement diminuée si on a soin d'enduire convenablement d'huile de vaseline les parois de la vessie.

Tous ces faits concourent à nous montrer que la diffusion doit être très faible. Voici en effet une expérience qui montre quelle valeur elle atteint dans les limites

reste donc que quelques indications complémentaires à donner. Dans tous les cas, le travail a consisté dans le soutien d'une charge pendant deux minutes seulement ; la dérivation de l'air qui servira aux déterminations commence dès la première seconde du travail et se continue encore pendant trois minutes après ce dernier. On est donc certain ainsi de recueillir la totalité de l'excès d'acide carbonique dû au travail musculaire, et de pouvoir apprécier de même en totalité la quantité d'oxygène absorbée. D'autre part, pour apprécier l'excès dû au travail musculaire, il est nécessaire de mesurer les coefficients respiratoires pendant cinq minutes de repos ; mais il faut tenir compte de ce fait que, pendant la journée et à l'état de repos, les quotients et coefficients respiratoires varient assez rapidement et d'une manière très régulière. Donc, pour avoir un point de comparaison exact, il est nécessaire de connaître les coefficients respiratoires pendant cinq minutes qui précèdent et cinq minutes qui suivent le travail musculaire. C'est ce qui a toujours été fait dans les expériences qui suivent, et les chiffres placés dans les tableaux, en face du mot *repos*, représentent la moyenne calculée des repos précédant et suivant le travail.

I. — *Soutien d'une charge constante avec raccourcissement musculaire variable.*

Dans cette série d'expériences, l'avant-bras soutenait un poids de 5 kilogrammes sous trois raccourcissements divers du biceps ; ces *trois positions du muscle* correspondent à trois positions de l'avant-bras différant l'une de l'autre par un angle de 20° , la position moyenne représentant l'horizontalité de l'avant-bras.

Dans les trois expériences qui suivent, le sujet était en digestion d'un repas semblable (mixte), fait à midi. L'expérience avait lieu de 3 heures et demie à 5 heures.

TABLEAU

des expériences qui suivent, soit pendant six minutes (cinq minutes pour l'expérience et une minute pour l'extraction de l'échantillon) : un litre d'air a été recueilli dans une vessie pendant un travail considérable, afin que cet air contienne une forte proportion d'acide carbonique ; puis, le travail terminé, on a fait l'analyse du gaz de la vessie : une première fois tout de suite après, une seconde fois six minutes après le travail. Dans le premier cas, l'air contenait $3^{\text{e}}, 23$ de CO^2 0/0 ; dans le second cas, il n'en contenait plus que $3^{\text{e}}, 18$ 0/0, c'est-à-dire $0^{\text{e}}, 05$ en moins. La portion qui a diffusé était donc $5/318$, c'est-à-dire $0,016$ de la quantité totale de CO^2 . En admettant même que la diffusion puisse atteindre $0,02$ 0/0, c'est-à-dire $1/50$ du volume total de CO^2 , je persiste à ne voir là qu'une cause d'erreur négligeable : 1° parce que cette diffusion est faible ; 2° parce qu'elle reste sensiblement la même dans tous les cas.

Exp. I (juillet 1896) ¹.

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos	859 ^{cc}		1154 ^{cc}		74,3
Soutien à — 20°.....	1044	185 ^{cc}	1366	212 ^{cc}	76,0
Repos	770		1021		75,4
Soutien à la position 0	1108	338	1365	344	81,2
Repos	718		962		74,6
Soutien à + 20°.....	1095	377	1322	360	82,6

Exp. II (juillet 1896) ².

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos	814 ^{cc}		1037 ^{cc}		81,4
Soutien à — 20°.....	1156	342 ^{cc}	1377	340 ^{cc}	83,9
Repos	780		960		81,2
Soutien à la position 0	1179	399	1372	412	85,9
Repos	751		926		81,0
Soutien à + 20°.....	1279	528	1437	511	89,0

Exp. III (juillet 1896).

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos	922 ^{cc}		1229 ^{cc}		75,0
Soutien à — 20°.....	1184	262 ^{cc}	1443	214 ^{cc}	82,0
Repos	936		1196		78,2
Soutien à la position 0	1296	360	1506	310	86,0
Repos	902		1153		78,2
Soutien à + 20°.....	1345	443	1504	351	89,4

Si nous rapprochons ces trois expériences pour obtenir des moyennes, et en ne considérant plus que les excédents du travail sur

¹ Cet angle est celui qui est formé par l'axe fictif de l'avant-bras avec une ligne horizontale passant par le milieu de l'articulation du coude.

² Les volumes donnés dans les quatre premières colonnes de ce tableau et des suivants sont exprimés en centimètres cubes et sont calculés à 0°, 760 millimètres, et secs.

le repos, seuls chiffres qui nous intéressent, nous obtenons le tableau suivant :

TABLEAU I.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² dû au travail.
Soutien à — 20°.....	233 ^{cc}	283 ^{cc}
Soutien à la position 0.....	365	355
Soutien à + 20°.....	449	407

Ou encore, en comparant ces chiffres aux nombres 253 et 283, pris comme unité :

TABLEAU II¹.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² dû au travail.
Soutien à — 20°.....	1	1
Soutien à la position 0.....	1,44	1,25
Soutien à + 20°.....	1,77	1,44

Mais, dans les séries d'expériences qui suivent, si l'on extrait isolément tous les cas de soutien à — 20°, 0, + 20°, et qu'on les compare respectivement entre eux et aux précédents, on peut obtenir un second tableau dont les indications ont probablement plus de valeur que celles du précédent, puisque les moyennes sont établies sur un plus grand nombre de termes. Voici, ramenées à l'unité, les moyennes obtenues par ce procédé :

TABLEAU III.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² dû au travail.
Soutien à — 20°.....	1	1
Soutien à la position 0.....	1,31	1,39
Soutien à + 20°.....	1,63	1,58

On voit donc que, dans les deux cas, les chiffres se rapprochent autant qu'on peut le désirer.

¹ Les chiffres d'oxygène et d'acide carbonique des tableaux II et III ne peuvent plus être comparés entre eux dans le but d'obtenir un quotient respiratoire, car les chiffres d'acide carbonique, par exemple, ont été ramenés à l'unité en les comparant respectivement entre eux, mais non aux chiffres d'oxygène. Seuls les chiffres du tableau I peuvent donner le quotient respiratoire.

Il ne nous reste plus qu'à tirer de ces chiffres les résultats des expériences :

1° Les quantités d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé, c'est-à-dire les quantités d'énergie dépensées par le muscle pour le soutien d'une charge, croissent avec le raccourcissement musculaire, bien que cette charge reste constante.

2° La charge étant la mesure de l'élasticité effective du muscle, les chiffres montrent qu'une portion de l'énergie a été convertie en élasticité qui n'a pas été appliquée au soutien du poids : elle a été appliquée à vaincre la *résistance* du tissu musculaire au déplacement. En effet, considérons les chiffres d'acide carbonique : à la position — 20°, le soutien de la charge nécessite une dépense d'énergie égale à 1. Si nous augmentons le raccourcissement du biceps d'une quantité déterminée (correspondant au passage de l'avant-bras de la position — 20° à la position 0), le soutien de la charge à la nouvelle position nécessite une dépense d'énergie égale à 1,31. Donc, l'élasticité effective restant la même et étant égale à 1, le changement de position du biceps a nécessité la création d'une nouvelle force élastique représentant une somme d'énergie égale à 0,31. Si, au lieu de l'augmentation précédente dans le raccourcissement, nous prenons une augmentation double, la création de force élastique nouvelle, non effective, sera égale à 0,63, ce qui signifie que cette force élastique est proportionnelle au raccourcissement musculaire. Mais ce résultat est établi d'après le tableau n° 3 ; l'examen du tableau n° 2 nous montre que, pour deux raccourcissements musculaires, proportionnels aux nombres 1 et 2, la création de force élastique non effective est égale à 0,44 et 0,77 ; d'où il résulte que *l'élasticité non effective varie dans le même sens, mais moins vite que le raccourcissement musculaire*. C'est cette dernière conclusion que j'adopterai, car elle est confirmée par les indications que donne l'oxygène dans les tableaux n°s 2 et 3 (1). En effet, les quantités d'énergie correspondant à l'élasticité non effective, pour les mêmes raccourcissements musculaires déjà considérés, sont égales à 0,25 et 0,44 dans le tableau n° 2 et à 0,39 et 0,50 dans le tableau n° 3.

Ainsi est mise en relief la différence qui existe entre *l'élasticité totale* et *l'élasticité effective*.

II. — Cas du muscle maintenu en état de raccourcissement uniforme sous la traction de charges variables.

Dans les quatre expériences qui suivent, le biceps soutenait des

¹ D'autre part, il est préférable d'accorder plus de valeur aux indications fournies par l'absorption d'oxygène qu'à celles fournies par l'acide carbonique exhalé.

charges de 1^{kg},676, 3^{kg},333, 5 kilogrammes, c'est-à-dire des charges qui sont entre elles comme les chiffres 1, 2, 3. Dans tous les cas, l'avant-bras était horizontal, c'est-à-dire dans la position O.

Le soutien a eu lieu comme précédemment pendant deux minutes et la prise d'air a été prolongée trois minutes après le travail.

EXP. I (juillet 1896).

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos	890 ^{cc}		1128 ^{cc}		78,9
Soutien de 1 ^{kg} ,666...	1079	189 ^{cc}	1316	188 ^{cc}	82,0
Repos	864	349	1107	373	78,0
Soutien de 3 ^{kg} ,333...	1213		1482		81,8
Repos	785	487	1029	534	76,3
Soutien de 5 kilogr..	1272		1563		81,4

EXP. II (juillet 1896).

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos	982 ^{cc}		1214 ^{cc}		80,8
Soutien de 1 ^{kg} ,666...	1148	166 ^{cc}	1398	184 ^{cc}	82,1
Repos	917	221	1132	206	81,0
Soutien de 3 ^{kg} ,333...	1138		1338		85,0
Repos	964	354	1189	314	81,1
Soutien de 5 kilogr..	1319		1503		87,7

EXP. III (juillet 1896).

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos	549 ^{cc}		719 ^{cc}		76,3
Soutien de 1 ^{kg} ,666...	635	86 ^{cc}	779	60 ^{cc}	81,5
Repos	614	198	794	143	77,4
Soutien de 3 ^{kg} ,333...	812		937		86,7
Repos	584	265	754	226	77,4
Soutien de 5 kilogr..	849		980		86,6

Exp. IV (juillet 1896).

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos.....	616 ^{cc}		787 ^{cc}		78,3
Soutien de 1 ^{kg} ,666...	657	41 ^{cc}	833	46 ^{cc}	78,9
Repos.....	630		709		88,8
Soutien de 3 ^{kg} ,333...	719	89	802	93	89,6
Repos.....	656		769		85,2
Soutien de 5 kilogr..	867	211	970	201	89,4

Si je rapproche tous ces résultats et que j'établisse des moyennes d'après ces 4 expériences, j'obtiens le tableau suivant :

TABLEAU IV.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² dû au travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666.....	120 ^{cc}	119 ^{cc}
Soutien de 3 ^{kg} ,333.....	214	204
Soutien de 5 kilogrammes.....	329	319

Si l'on compare respectivement ces chiffres entre eux et qu'on les ramène à l'unité, on obtient le nouveau tableau :

TABLEAU V.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² dû au travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666.....	1	1
Soutien de 3 ^{kg} ,333.....	1,8	1,7
Soutien de 5 kilogrammes.....	2,7	2,7

Je ne reproduirai pas, comme je l'ai déjà fait plus haut, un nouveau tableau de moyennes établies, d'après tous les cas utilisables dans ce travail, car ce tableau est presque exactement semblable au précédent.

Ici, les chiffres ne peuvent pas être comparés entre eux d'une manière immédiate, car indépendamment de l'effet de la charge sur le biceps, nous avons à tenir compte du poids de l'avant-bras. Mais nous pouvons déjà établir une première conclusion en prenant comme

point de comparaison et point de départ la dépense énergétique entraînée par l'avant-bras chargé d'un poids de $1^{\text{kg}},666$. Si nous ajoutons un nouveau poids de $1^{\text{kg}},666$ au biceps, nous voyons la dépense énergétique augmenter de $1,8 - 1 = 0,8$ pour CO^2 et $1,7 - 1 = 0,7$ pour O^2 . Si au lieu de $1^{\text{kg}},666$ nous ajoutons une charge double, c'est-à-dire un poids de $3^{\text{kg}},333$, l'énergie mise en action s'accroît de $2,7 - 1 = 1,7$ pour CO^2 et de $2,7 - 1 = 1,7$ pour O^2 . Ainsi donc *l'énergie mise en jeu pour le soutien d'une charge s'accroît sensiblement de la même manière que cette charge*; elle paraît cependant s'accroître un peu plus rapidement que cette dernière, surtout si l'on s'en rapporte plutôt aux indications données par l'oxygène qu'à celles données par l'acide carbonique.

Nous pourrions encore tirer d'autres indications du tableau ci-dessus. Ainsi l'examen de ce tableau nous conduit à admettre comme presque certain que l'addition de la première charge ($1^{\text{kg}},666$) au biceps a dû, à peu de chose près, absorber une quantité d'énergie qu'on peut représenter par le chiffre 0,7 par rapport aux autres, aussi bien pour la production d'acide carbonique que pour l'absorption d'oxygène, d'où on en déduit que le soutien de l'avant-bras par le biceps nécessitait une dépense d'énergie de $1 - 0,7 = 0,3$. Si maintenant nous retranchons cette quantité 0,3 de tous les chiffres obtenus, nous trouvons que les trois charges ont consommé des quantités d'énergie qui sont entre elles comme les chiffres 0,7, 1,5 et 2,4 d'après les indications données par l'acide carbonique et comme les chiffres 0,7, 1,4, 2,4 d'après les indications données par l'oxygène; en résumé, les quantités d'énergie mises en action sont à peu près entre elles, dans les deux cas, comme les chiffres 1, 2 et 3.

Cependant, ici encore, la dépense énergétique s'accroît un peu plus rapidement que la charge.

Ainsi donc se trouvent confirmées les deux lois suivantes établies par M. Chauveau par un procédé différent :

1° *A égalité de raccourcissement musculaire, la dépense d'énergie consacrée au soutien d'une charge croît comme cette charge*;

2° *A égalité de charge, la dépense d'énergie croît comme le raccourcissement musculaire*.

J'ai indiqué les restrictions qu'il faut faire dans l'un et l'autre cas; ainsi dans le premier, la croissance de la dépense énergétique paraît être un peu plus rapide que celle de la charge; dans le second cas, au contraire, la dépense d'énergie s'accroît moins vite que le raccourcissement musculaire. Mais, malgré ces légers écarts, ces expériences n'en démontrent pas moins d'une manière très nette cette autre proposition d'une importance capitale énoncée par M. Chauveau comme corollaire des deux lois précédentes :

L'élasticité créée par la contraction statique, pour le soutien d'un poids, contient toute l'énergie que cette contraction met en jeu.

Ces expériences montrent en outre les rapports qui existent entre l'élasticité totale et l'élasticité effective; elles prouvent que, alors que le travail statique ne varie pas, c'est-à-dire que l'élasticité effective reste la même, la dépense d'énergie, ou encore l'élasticité totale qui en dérive, croît avec le raccourcissement musculaire; ainsi est mise en lumière cette portion d'élasticité qui n'est pas appliquée à effectuer le travail statique, mais à combattre la résistance de la substance musculaire au déplacement; les faits montrent aussi que cette dernière force élastique croît comme le raccourcissement du muscle, mais un peu moins rapidement; les expériences de la seconde série montrent aussi que son coefficient croît comme la charge, mais plus rapidement qu'elle.

Ces lois nous enseignent que la dépense énergétique est une fonction de la charge multipliée par le raccourcissement. Il faut donc voir si, lorsqu'on fera varier à la fois la charge et le raccourcissement, dans le même sens ou en sens contraire, la dépense énergétique pour les différents cas suivra bien les proportions indiquées par la théorie. Nous allons étudier successivement les deux cas qui peuvent se présenter :

III. — *Cas de la variation simultanée et croissante de la charge et du raccourcissement.*

Si nous combinons dans une même expérience la croissance de la charge à la croissance du raccourcissement, c'est-à-dire si l'avant-bras soutient dans 3 cas successifs, 1^{kg},666 sous l'angle — 20°, 3^{kg},333 à la position 0, et 5 kilogrammes sous l'angle + 20, les quantités d'énergie absorbées dans les différents cas devront être entre elles comme les chiffres suivants, d'après ce qui a été dit plus haut :

TABLEAU VI.

	Excès de CO ² dû au travail,	Excès de O ² absorbé par le travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à — 20°	(1 × 1) = 1	(1 × 1) = 1
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	(1,8 × 1,31) = 2,4	(1,7 × 1,39) = 2,4
Soutien de 5 kilogrammes à + 20°.....	(2,7 × 1,63) = 4,4	(2,7 × 1,58) = 4,3

Je ferai remarquer ici que, pour obtenir ces chiffres, je n'ai eu qu'à multiplier les moyennes données par les tableaux nos 3 et 5

(mémoire antérieur, p. 84 et 87), sans me préoccuper, cette fois, du poids de l'avant-bras. En effet, dans les deux premières séries d'expériences, la charge a été constituée, dans tous les cas, par un poids surajouté au poids de l'avant-bras. Or, dans les expériences qui suivent, l'avant-bras fait de même partie de la charge, et cette charge sera, dans tous les cas, la même que dans le cas correspondant des expériences de la deuxième série. Le tableau précédent contient donc bien les chiffres indiqués par la théorie. — Voici les résultats des trois expériences faites dans les conditions que j'ai indiquées antérieurement; dans deux expériences le sujet était en digestion d'un repas mixte fait à midi, et l'expérience avait lieu de 3 h. 30 m. à 5 heures; le travail statique durait 2 minutes comme dans les expériences précédentes.

EXP. I (juillet 1896). — Sujet à jeun; expérience faite de 9 h. 30 m. à 11 h.

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos.....	629 ^{cc}		809 ^{cc}		79,0
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à — 20°.....	686	57 ^{cc}	890	81 ^{cc}	77,0
Repos.....	635		830		76,5
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	833	198	1034	204	80,5
Repos.....	649		859		76,5
Soutien de 5 kilogr. à + 20°.....	1072	423	1210	351	88,6

EXP. II (juillet 1896). — Sujet en digestion.

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos.....	807 ^{cc}		1011 ^{cc}		79,0
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à — 20°.....	896	89 ^{cc}	1103	92 ^{cc}	81,3
Repos.....	818		1032		79,5
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	1073	255	1287	235	83,4
Repos.....	785		973		80,9
Soutien de 5 kilogr. à + 20°.....	1214	429	1373	400	88,4

Exp. III (juillet 1896). — Sujet en digestion.

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos.....	593 ^{co}		787 ^{co}		75,1
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à — 20°.....	665	72 ^{co}	847	60 ^{co}	78,5
Repos.....	649		851		75,7
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	853	204	1029	178	82,9
Repos.....	584		768		76,8
Soutien de 5 kilogr. à + 20°.....	962	378	1074	306	89,5

Si nous calculons les moyennes des excédents d'acide carbonique et d'oxygène dus au travail dans chaque cas, nous obtenons le tableau suivant :

TABLEAU VII.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² absorbé par le travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à — 20°.....	73 ^{co}	78 ^{co}
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	216	212
Soutien de 5 kilogrammes à + 20°.....	410	352

Si nous comparons ces nombres entre eux en prenant comme unité respectivement dans chaque colonne les nombres 73 et 78, nous obtenons le tableau qui suit :

TABLEAU VIII ⁴.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² absorbé par le travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à — 20°.....	1	1
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	3	2,7
Soutien de 5 kilogrammes à + 20°.....	5,8	4,5

Si maintenant nous nous reportons aux chiffres théoriques calculés dans le tableau n° 6, nous voyons que les chiffres d'oxygène inscrits dans ce tableau sont presque identiques à ceux du tableau n° 8.

⁴ Ici, comme dans la deuxième série d'expériences, je ne reproduis pas de tableau dont les moyennes soient établies sur tous les cas de soutien d'une même charge, avec raccourcissement identique, et qu'on rencontre dans des expériences faites dans des buts différents. Ce tableau serait presque identique, et c'est pour cette raison que je ne le donne pas.

Quant aux chiffres d'acide carbonique, ils sont légèrement plus forts dans le second cas que dans le premier; mais la différence est de peu d'importance et ne peut nous empêcher de conclure que les résultats obtenus sont en concordance avec les lois énoncées antérieurement; du reste, le léger excès des chiffres d'acide carbonique du tableau n° 8 sur ceux du tableau n° 7 me paraît assez rationnel et il serait facile d'en démontrer ou d'en expliquer la cause.

IV. — *Cas de la variation simultanée, mais en sens inverse, de la charge et du raccourcissement musculaire.*

J'ai fait trois expériences se rapportant à ce cas, mais je n'en citerai que deux, la troisième étant incomplète par suite d'un accident survenu pendant l'analyse des gaz. Dans ces deux expériences, le sujet supportait la plus forte charge, 5 kilogrammes, à la position inférieure (angle — 20°) et la plus faible, 1^{kg},666, à la position supérieure (angle + 20°).

Exp. I (juillet 1896). — Sujet en digestion; expérience faite de 3 h. 30 m. à 5 h.

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos.....	767 ^{cc}		1075 ^{cc}		67,8
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à + 20°.....	913	146 ^{cc}	1250	175 ^{cc}	73,0
Repos.....	769		1035		74,3
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	914	145	1205	170	73,9
Repos.....	800		1141		70,1
Soutien de 5 kilogr. à — 20°.....	1064	264	1335	194	79,7

Exp. II (juillet 1896). — Sujet à jeun; expérience faite de 9 h. 30 m. à 11 h.

	CO ² exhalé.	Excédent du travail sur le repos.	O ² absorbé.	Excédent du travail sur le repos.	Quotient respiratoire.
Repos.....	617 ^{cc}		862 ^{cc}		71,6
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à + 20°.....	789	172 ^{cc}	1035	173 ^{cc}	76,2
Repos.....	617		864		71,4
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	824	207	1084	220	76,0
Repos.....	693		950		73,0
Soutien de 5 kilogr. à — 20°.....	991	298	1260	310	78,7

Ici je ne puis établir de moyennes que sur deux chiffres, ce qui m'a forcé de recourir au second procédé déjà indiqué plus haut pour obtenir des moyennes plus exactes ou ayant plus de chances de se rapprocher de la réalité. Voici le tableau que j'ai obtenu par ce procédé, tableau qui diffère très peu du reste de celui qu'on obtiendrait à l'aide des deux expériences précédentes seules :

TABLEAU IX.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² absorbé par le travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à + 20°.....	159 ^{co}	174 ^{co}
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	203	201
Soutien de 5 kilogrammes à — 20°.....	264	240

ou, en comparant respectivement aux chiffres 159 et 174 pris comme unités :

TABLEAU X.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² absorbé par le travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à + 20°.....	1	1
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	1,3	1,2
Soutien de 5 kilogrammes à — 20°.....	1,7	1,4

Or, les chiffres théoriques que nous aurions dû obtenir sont ceux du tableau suivant :

TABLEAU XI.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² absorbé par le travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à + 20°.....	$(1,63 \times 1) = 1,63$	$(1,58 \times 1) = 1,58$
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	$(1,34 \times 1,8) = 2,36$	$(1,39 \times 1,7) = 2,36$
Soutien de 5 kilogrammes à — 20°.....	$(1 \times 2,7) = 2,7$	$(1 \times 2,7) = 2,7$

ou encore en rapportant ces chiffres à l'unité :

TABLEAU XII.

	Excès de CO ² dû au travail.	Excès de O ² absorbé par le travail.
Soutien de 1 ^{kg} ,666 à + 20°.....	1	1
Soutien de 3 ^{kg} ,333 à la position 0.....	1,4	1,5
Soutien de 5 kilogrammes à — 20°.....	1,7	1,7

La comparaison des tableaux n^{os} 12 et 10 nous montre donc que, pour l'acide carbonique, il y a presque identité entre les résultats de l'expérience et les prévisions théoriques. Quant aux chiffres d'oxygène du tableau n^o 10, ils sont un peu plus faibles que les chiffres théoriques, mais la différence est négligeable vis-à-vis du résultat obtenu et n'enlève rien à la netteté de ce dernier. On peut donc conclure :

Que l'énergie mise en action dans le muscle en contraction statique et par suite l'élasticité qui en dérive (Elasticité totale) est une fonction de la charge multipliée par le raccourcissement.

Vu par le Président de la thèse :

CH. RICHET.

Vu :

Le Doyen : BROUARDEL.

Vu et permis d'imprimer,

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

